

УДК 606:57.084.1

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КУЛЬТИВУВАННЯ
ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ШТАМУ *CHLORELLA VULGARIS* В
УМОВАХ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**М.А. ПРОКОФЬЄВА, М.І. СЕМЕНОВ, Я.В. СТЕПНЕВСЬКА,
В.Т. СМЕТАНІН**

Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро

*Проведена селекція штаму *Chlorella vulgaris* для культивування в умовах низьких температур та вивчені різні підходи до накопичення біомаси мікроводорості. Підібрані та обґрунтовані оптимальні умови її культивування, концентрування та дезінтеграції клітин. Показана ефективність використання біомаси в системі очищення стічних вод птахокомплексів та як компонента метаногенного субстрату біогазового комплексу.*

Ключові слова: *альготехнології, *Chlorella vulgaris*, селекція, технологія культивування, метаногенез.*

Вступ. В кінці першого десятиріччя ХХІ століття людство вступило в VI технологічний уклад, коренем і ядром якого стала біотехнологія. Це принципово нове ставлення до всіх виробничих процесів, які будуть обумовлювати майбутні інвестиційні пріоритети, в основу яких покладені природо-, енерго-, еко- та ресурсозбереження. Одним з таких перспективних біотехнологічних напрямків є альгобіотехнологія.

Одноклітинні зелені водорості є досить ефективним перетворювачем сонячної енергії з добре організованими стадіями відновлення CO₂ до цілого комплексу енергоємних біомолекул, що включають вуглеводи, білки, ліпіди та ін., тобто вони здатні синтезувати настільки різноманітні біологічно активних речовин (БАР), що їх можна віднести до необхідної та найбільш оптимальної

ланки трофічного шляху різних таксонів. Одним з їх представників з найбільш вивчених та перспективних для біотехнологічного використання можна вважати хлорелу. За весь час існування на планеті Земля вона пережила безліч катаклізмів, але не тільки витримала усі випробування, а і вдосконалилася у адаптації до широкого діапазону екологічних умов.

Останнього часу біомасу хлорели використовують в різних галузях виробництва, а саме: для очищення стічної води, вводять в кормовий раціон сільськогосподарських тварин [2,3], як джерело вуглеводів, жирів та БАР в фармацевтичній та енергетичній галузях. Культивування хлорели дозволяє вирішити також і цілий ряд екологічних проблем, серед яких фіксація надлишкового вуглекислого газу атмосфери, біотрансформація стічних вод, отримання антибіотику природного походження хлореліну [1,4]. Але, не зважаючи на усі переваги альгокультивування, в Україні майже не існує підприємств, які б займалися випуском продукції на основі біомаси хлорели, а лабораторне та масове вирощування здійснюється вкрай мало. Це пов'язано з певними труднощами культивування в осінньо-зимовий період, за рахунок того, що хлорела потребує оптимального для культивування температурного режиму (25–28 °C).

Таким чином, розробка технології культивування *C.vulgaris* з урахуванням регіональних особливостей степової зони України, а саме формування популяції хлорели більш стійкої до низьких температур є актуальним та практично обумовленим завданням, а рішення деяких селекційних питань при роботі з водорістю дозволить вирішити ще й деякі теоретичні уявлення про відбір та перетворення генофонду цієї культури.

Робота проведена з урахуванням виробничих особливостей та на замовлення птахофабрики ПрАТ «Оріль-лідер», в якій найбільш виражені потреби застосування більш ефективних способів очищення стічних вод, введення в раціон курей органічних, природних добавок, і підвищення енергетичної складової субстрату на біокомплексі при виробництві біогазу. Використання хлорели у виробничому циклі підприємства дозволить значною

мірою знизити гостроту вище перелічених технологічних елементів: знизити собівартість та підвищити ефективність кормових раціонів птиці та виробництва біогазу, а також покращити ступень очистки стічних вод.

Матеріали і методи досліджень. Селекційна робота проводилася на базі кафедри біотехнології УГХТУ в лабораторії аквакультур упродовж 3 років. Впродовж цього терміну створювалися постійні температурні умови за допомогою термостатичних боксів та холодоагентів.

Для селекціонування культури *C.vulgaris* було обрано природний дикий штам одноклітинної зеленої водорості виділений з р. Дніпро. У ході контрольного висіву і маломасштабного культивування (у пробірках, колбах, тощо) аналізували стійкість усіх ознак, які існували або були надбані і послужили підставою для рекомендацій щодо промислового застосування цієї культури.

Живильне середовище готували з використанням реактивів з кваліфікацією х.ч. та ч.д.а., рН середовища доводили до необхідного значення за допомогою іономіру (ЭВ-74), із системою електродів: індикаторний скляний рН-електрод (ЭСЛ-51-07) та електрод порівняння – хлорсрібний електрод.

Періодичне культивування *C. vulgaris* проводили у біореакторах, виготовлених з акваріумного скла, об'ємом 20 дм³, біореактори знаходилися в спеціальних боксах, які здатні підтримувати температуру на постійному рівні. Живильне середовище розливали в біореактори по 18 дм³ в кожний з 8 ємностей (2 біореактори на кожне середовище) і вводили інокулят штаму *C. vulgaris* до досягнення необхідної вихідної щільності клітин в культурі. Насичення біомаси вуглекислим газом та перемішування здійснювали протягом усього періоду дослідження за допомогою компресорів Air Pump AC-9603 (інтенсивність продувки кімнатним повітрям 4,5 л/хв.). Між біореакторами та згори розташовували джерела штучного світла люмінесцентні фітолампи (OSRAM Fluora L36W/77) 1000 лк та електричні лампи OSRAM світловий потік 1470 Лм, освітлення проводили цілодобово без чергування фаз світло/темрява.

Попередню оцінку продуктивності мікроводорості здійснювали методом прямого підрахунку клітин у камері Горяєва за методикою, описаною в [8] та непрямими методами – нефелометричним та спектрофотометричним за допомогою спектрофотометра СФ-2000 [6,8].

Статистичну оцінку процесу культивування досліджуваних штамів мікроводорості *C. vulgaris* проводили за допомогою комп'ютерної програми MS Excel.

Центрифугування проводили з використанням центрифуги РРС-960 (Ц-42), при частоті обертання барабана 1500 об/хв. упродовж 5–10 хв. Ліофілізацію проводили в електричній круглій сушильній шафі 2В-151. Ультразвукову дезінтеграцію проводили за допомогою диспергатора УЗДН-1 з частотою ультразвуку 22 кГц при співвідношенні $m_{\text{ТВ}}:m_{\text{жид}} = 1:5$ упродовж 4–10 хвилин.

Результати та їх обговорення. Для селекції стійкого до низьких температур, тобто кріофільного штаму мікроводорості *C. vulgaris*, нами були досліджені різні температурні режими, не характерні для оптимального росту мікроводорості.

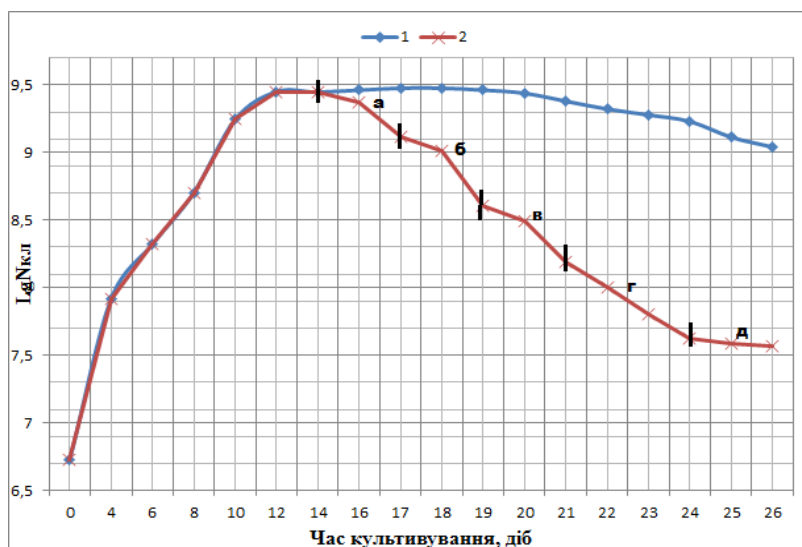


Рис. 1. Криві росту *C. vulgaris* на середовищі Майєрса при постійній температурі – 22°C (контроль – 1) та при поступовому зниженні температури культивування на 2 °C (2): а) стаціонарна фаза при $t = 20$ °C; б) $t = 18$ °C; в) $t = 16$ °C; г) $t = 14$ °C; д) $t = 12$ °C

На першому етапі експерименту досліджували стандартні умови культивування при температурі 22 °С на середовищі Майерса (рис. 1 ряд 1). Крива росту *C. vulgaris* при постійній температурі культивування 22 °С відповідає стандартній схемі продуктивності будь-якого мікроорганізму, з чітким розділенням на фази. Упродовж експерименту поступово знижували температуру на 2 °С з 22 °С до 12 °С і фіксували характерні зміни продуктивності біомаси (рис. 1. ряд 2). Різниця в концентрації клітин стаціонарної фази в контролі при 22 °С та при 14 °С становила $1,1 \cdot 10^9$ кл/л. При зниженні температури спостерігалось зниження продуктивності мікроводорості, але при досягненні температури 12 °С спостерігали стабілізацію кількості клітин, що пояснюється гетерогенністю «дикого» штаму *C.vulgaris* за своїм складом, і наявністю в ньому як термофільних та мезофільних так і кріофільних культур. Таким чином, при зниженні температури розвиток термофільних та мезофільних культур призупиняється і ми спостерігаємо на кривій росту зниження росту культури, але окремі клітини продовжують розвиватися, тому ми спостерігаємо стабілізацію кривої росту при 12 °С.

Селекцію проводили в лабораторії альгобіотехнології упродовж 3 років, культивування штаму *C. vulgaris* проводили при мінімальній, але оптимальній для розвитку культури температурі 12–14 °С. При роботі зі штамом, яка була направлена на отримання хлорели, стійкої до низьких температур, ми упродовж усього періоду селекції культивували мікроорганізм при 14 °С, відбираючи в кожній генерації найбільш життєздатні клітини, використовуючи їх як маточну культуру. В результаті ми отримали штам, який здатний ефективно розмножуватися, існувати при цій температурі 14 °С (яка є помітно нижче, ніж вихідна оптимальна температура).

Таким чином, було селекціоновано високопродуктивний штам для культивування в умовах низьких температур. Здатність до зростання накопичення біомаси хлорели при 14 °С показана на графіку (рис. 2).

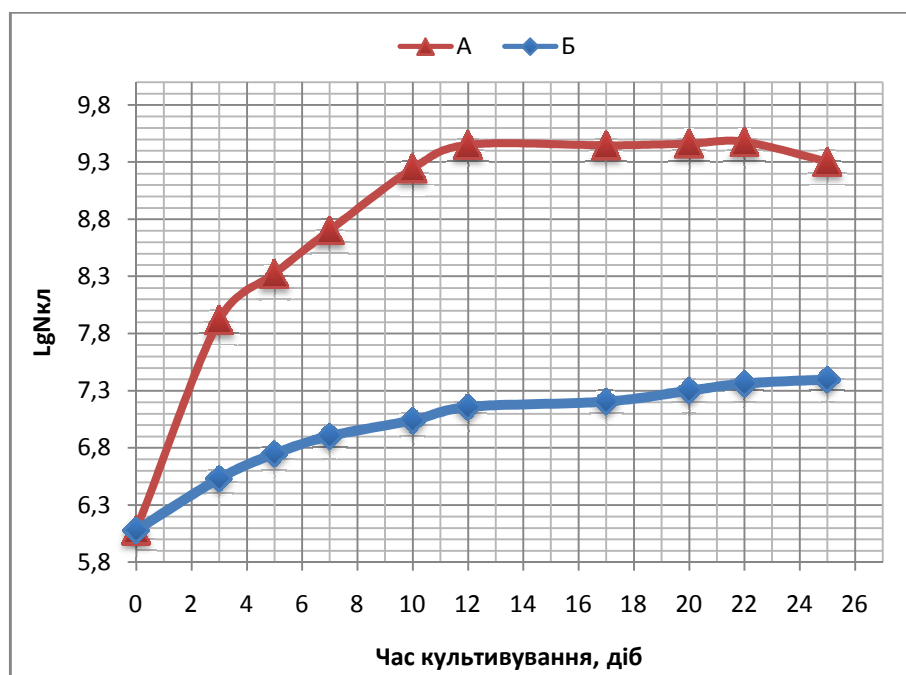


Рис. 2. Криві росту селекціонованого штаму (ряд А) та вихідного «дикого» штаму *C. vulgaris* (ряд Б) на середовищі Майерса при температурі культивування 14 °С

Експериментальні дослідження показали, що крива росту вихідного «дикого» штаму *C. vulgaris* (рис. 2. ряд Б) не має класичної фази експоненційного росту культури при 14°C, при якому логарифм числа клітин підвищується лінійно із часом, що ще раз підкреслює його генетичну гетерогенність, крива росту селекціонованого штаму (рис.2. ряд А) має S-подібну форму, що дає змогу розрізнити кілька фаз росту, які змінюють одна одну у визначеній послідовності, присутній експоненційний ріст та концентрація клітин в стаціонарній фазі досягає $2,7 \cdot 10^9$ кл/л.

Таким чином, порівнюючи криві росту, можна зробити висновок, що селекціонований штам адаптований до низьких температур, та може характеризувати відносну однорідність культури.

Звичайно, що нові умови культивування потребували вивчення ефективного використання традиційних живильних середовищ, які рекомендовані для роботи з хлорелою. Нами було досліджено ті живильні середовища, які за літературними даними найкраще підходять як за кількісним

так і за якісним складом, це середовище Майерса, Прата, Тамійя та Кузнецова (збалансоване середовище) [3,5,7].

В процесі культивування біомаси фіксували її кількісні характеристики з періодичністю 24 години. Попередню оцінку продуктивності мікроводорості здійснювали методом прямого підрахунку клітин у камері Горяєва та непрямими методами – нефелометричним та спектрофотометричним.

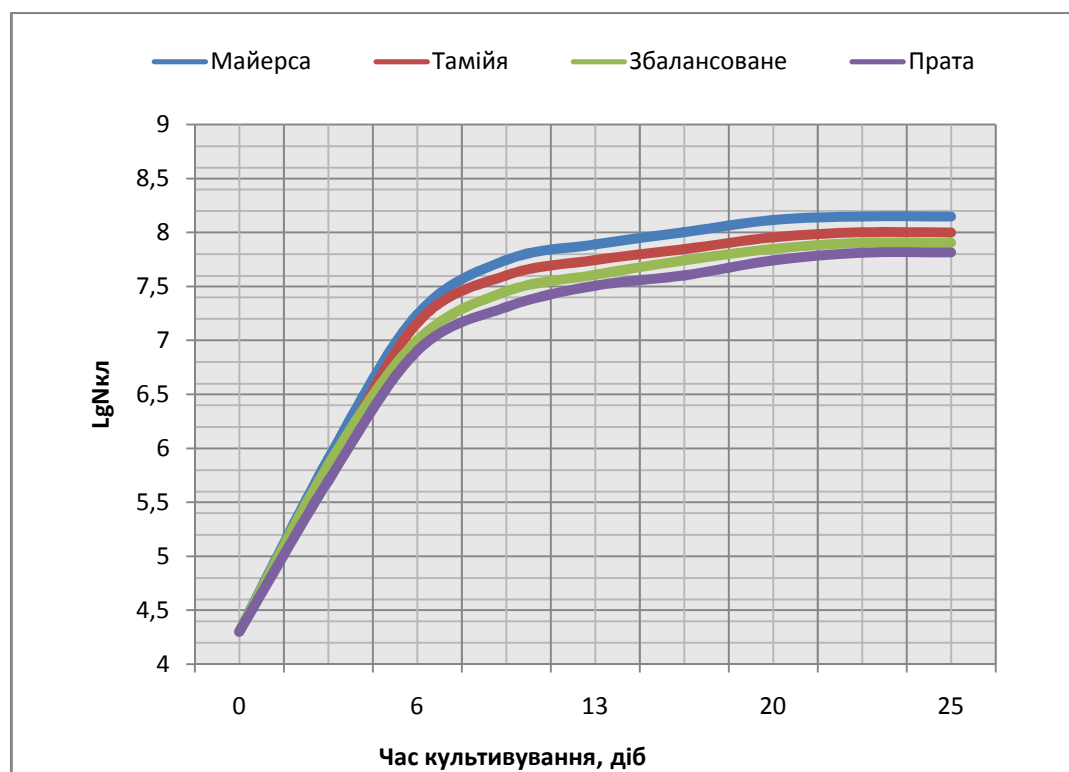


Рис. 3. Криві росту *C. vulgaris* на поживних середовищах Тамійя, Прата, Майерса та Збалансованому при температурі культивування 14 °С

Експериментальні дані показують, що за однакових умов культивування, на різних середовищах концентрація клітин штаму *C. vulgaris* в першій фазі росту відрізняється не суттєво, але в стаціонарній фазі кількість клітин при культивуванні в середовищах Тамійя та Майерса більше, ніж в середовищах Прата та Збалансованому (рис. 3). Тому, для подальшого дослідження використовували середовища Тамійя та Майерса. Проаналізувавши криві росту *C. vulgaris* на двох середовищах, можна стверджувати, що обидва середовища підходять для культивування хлорели при температурі 12–14 °С. В процесі

культивування нами було досліджено морфологічні характеристики культури за допомогою мікроскопіювання. Основними показниками оцінки ефективності штаму та середовища культивування були середньоарифметичний діаметр клітини та стандартне відхилення діаметру клітини у виборці, кінцева концентрація клітин, а також швидкість росту культури (табл. 1). Результати дослідження показали, що на середовищі Майерса культура почуває себе більш комфортно та візуально помітна більша концентрація клітин, порівняно з тими, які зростають на середовищі Тамійя. Отримана біомаса теж помітно більша за масою. Таким чином, результати підрахунку середньоарифметичного розміру клітин та стандартного відхилення діаметру клітини на середовищах Тамійя та Майерса пріоритетність у використанні процесу культивування штаму *C. vulgaris* саме середовища Майерса. Таким чином, враховуючи морфологічні особливості культури та економічні переваги середовища Майерса, саме його ми пропонуємо для використання при культивуванні біомаси хлорели.

Таблиця 1

**Статистична характеристика росту культури селекціонованого штаму
*C. vulgaris***

Час культивування, діб	Середовище Тамія		Середовище Майерса	
	Середній розмір клітин, мкм	Швидкість розмноження, 10^6 кл/добу	Середній розмір клітин, мкм	Швидкість розмноження, 10^6 кл/добу
0	4,50±1,78	-	4,50±1,78	-
5	4,50±2,23	0,19	4,50±1,0	0,26
7	5,41±1,61	4,63	6,25±1,19	5,53
14	5,20±1,19	12,70	5,50±1,59	19,05
19	4,53±0,74	10,10	7,96±4,76	13,40
21	6,70±1,33	7,30	9,06±2,67	11,50
28	6,43±1,48	4,00	6,75±3,02	5,96
32	7,42±2,58	5,25	8,87±5,04	5,10

Згідно з даними статистичної обробки, швидкості росту культури *C. vulgaris* та її середньостатистичного відхилення було отримано наступні залежності (рис. 4).

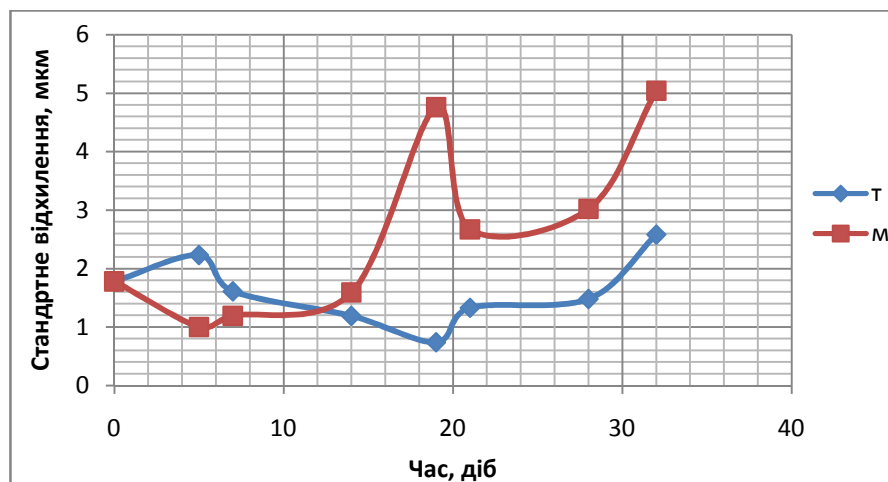


Рис. 4. Зміна стандартного відхилення упродовж культивування селекціонованого штаму *C. vulgaris* на середовищах Майерса (М) та Тамія (Т)

Відомо, що останнього часу досить часто для контролю накопичення біомаси та побудови кривої росту використовують методи альтернативні прямому підрахунку клітин в камері Горяєва, а саме метод нефелометричного контролю суспензії культури при 420–540 нм та спектрофотометричний аналіз в діапазоні 650–750 нм. Ці методи вважають менш трудомістким та досить інформативними [4,9]. Тому на кожному етапі нами було досліджено спектральні характеристики розчинів *C. vulgaris*.

Проаналізувавши отримані результатів нами було встановлено, що нефелометричні характеристики вочевидь залежать не тільки від кількості клітин, а також від їх розмірів, наявності в них ліпідів, вуглеводів, білків, хлорофілів та інших БАР, які виділяються в культуральну рідину. Ці речовини є оптично активними як в УФ так і у видимому діапазоні, тому вони також впливають на результат визначення, що робить неможливим використання спектрофотометричного методу для кількісної оцінки біомаси хлорели. Але ми пропонуємо для зменшення впливу цих речовин у видимому діапазоні використовувати в якості розчину порівняння центрифугат біомаси.

Таким чином, для побудови кривої росту ми не можемо запропонувати метод нефелометричного визначення, тим самим підтверджуючи, що оцінка кінцевого продукту, а саме біомаси мікрowodоростей, підпорядковується

складним нелінійним процесам, що потребують нетривіальних багатофункціональних підходів.

Наступним етапом розробки технології культивування було підбір умов концентрування та переробки біомаси мікродорості *C. vulgaris* для оптимізації отримання цільового продукту товарної форми. Існує велика кількість різних за специфікою методів концентрування, які застосовуються в біотехнології, але високоефективним, швидким та доступним є метод центрифугування [10,11]. Для дослідження було обрано саме цей метод, адже він має високий ступінь розділення клітин від культуральної рідини та дозволяє зберегти клітини фізіологічно активними. Після осадження клітин отриманий концентрат піддавали попередній обробці, спрямованій на підвищення ефективності подальшого вилучення необхідних органічних речовин. Суть обробки полягала в дезінтеграції клітинних оболонок водоростей з метою забезпечення доступу розчинника у внутрішній простір клітини. Для досягнення цієї мети використовували метод ультразвукової дезінтеграції.

Центрифугування проводили упродовж 4, 7 та 10 хвилин при швидкості обертання барабана 800, 1000 та 1500 об/хв. В результаті виявили, що повне відокремлення біомаси (95–98 %) відбувається при швидкості обертання барабану центрифуги 1500 об/хв упродовж 10 хвилин.

Висушування проводили в сушильній шафі упродовж 2 годин при температурі 110 °C [25].

Використання продукції на основі біомаси хлорели має певні труднощі. Хлорела має досить міцну клітинну стінку, яку тварини не здатні перетравлювати та засвоювати ті корисні речовини, які містить клітина, тому доводиться використовувати різні методи для її дезінтеграції.

Дезінтеграцію проводили в диспергаторі УЗДН-1 з частотою 22 кГц. В результаті виявили, що максимальна дезінтеграція клітин (90–95 %) відбувалася упродовж 10 хвилин при співвідношенні $m_{\text{тв}}:m_{\text{рід}}$ як 1:5

Наявність міцної клітинної стінки дало змогу деяким клітинам навіть після дії диспергатора залишитися цілими (рис. 3.10–3.12 Сектор А), але основна частина клітин – зруйнувалася (рис. 3.11–3.12 Сектор В).

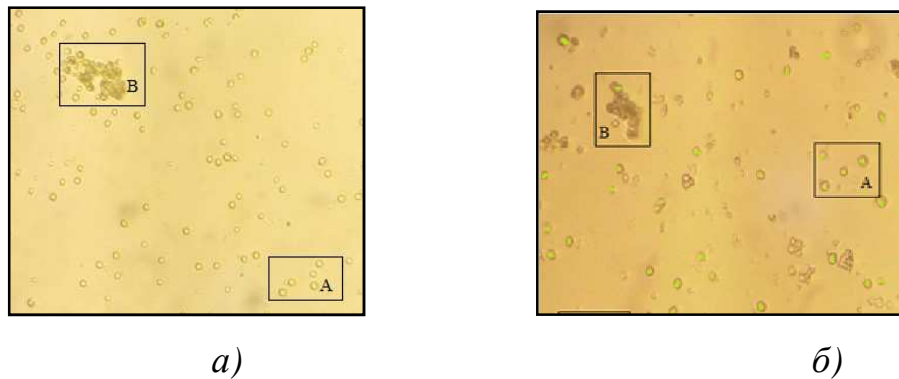


Рис. 5. Мікроскопія клітин *C. vulgaris* після дезінтеграції упродовж 4 хвилин, співвідношенні $m_{ТВ}:m_{рід}$: а) 1:10; б) 1:5

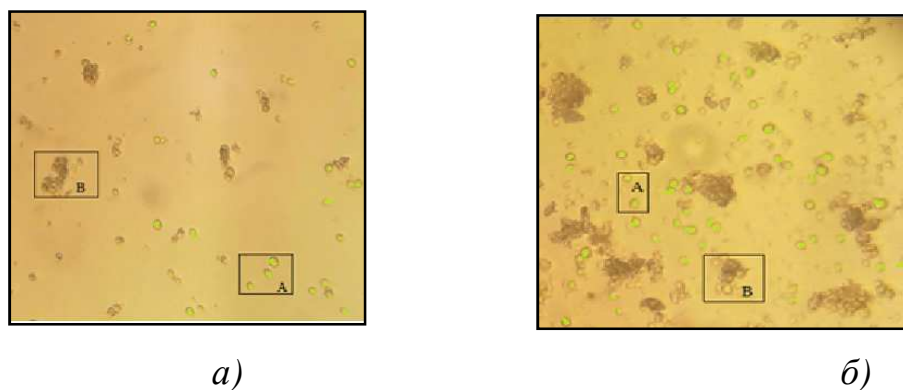


Рис. 6. Мікроскопія клітин *C. vulgaris* після дезінтеграції упродовж 7 хвилин співвідношенні $m_{ТВ}:m_{рід}$: а) 1:10; б) 1:5

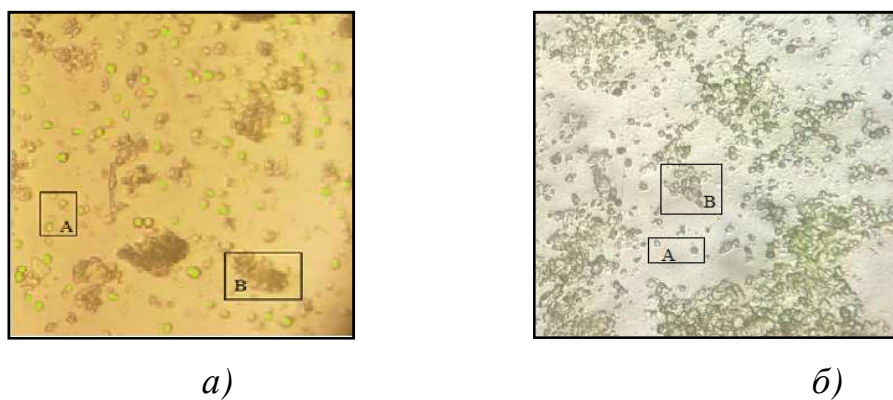


Рис. 7. Мікроскопія клітин *C. vulgaris* після дезінтеграції упродовж 10 хв співвідношенні $m_{ТВ}:m_{рід}$: а) 1:10; б) 1:5

Таким чином, отримана нами ліофілізована порошкоподібна біомаса може використовуватися для додавання в корм як кормову добавку, що в результаті значно підвищує харчову цінність корму, а саме збагачує його білками, вуглеводами, жирами та вітамінами, які потрібні для росту та розвитку курчат-бройлерів.

Дезінтегровану суспензію біомаси *C. vulgaris* ми використовували як компонент живильного середовища в метантенках на біогазовому комплексі підприємства ПрАТ «Оріль-Лідер», тому що біомаса є основним джерелом ліпідів, що необхідно для живлення метаногенних бактерій.

Для визначення доцільності використання хлорели у якості компонента метаногенного субстрату було проведено серію експериментів з дезінтегрованою та недезінтегрованою біомасою хлорели на лабораторних біогазових установках. Як контрольний зразок та інокулят був використаний переброджений субстрат з доброджувачів біогазового комплексу.

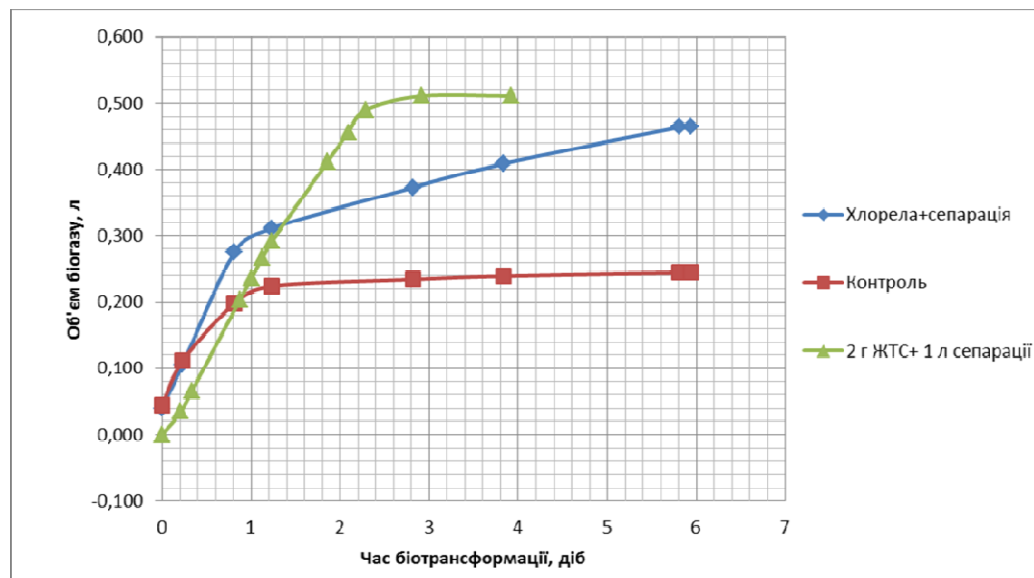


Рис. 8. Криві швидкості анаеробного бродіння біомаси *C. vulgaris*

У результаті експерименту було встановлено, що хлорела у дезінтегрованому стані піддається біотрансформації анаеробною мікрофлорою біогазового комплексу, в результаті чого з 1 г біомаси (у перерахунку на суху біомасу) можна отримати близько 250 см³ біогазу (рис. 8), що становить 250 м³

з 1 тони сировини. В той час як вихід біогазу з пташиного посліду (основної сировини біогазового комплексу) становить близько 150–160 м³/т біомаса хлорели дозволяє отримати в 1,5 рази більшу кількість біогазу.

Було також оцінено швидкість видобутку біогазу. Таким чином при анаеробному зброджуванню в першу чергу біотренсформації піддаються жирові компоненти біомаси, про це свідчить пік виділення біогазу на 1-й та 2-й дні експерименту, для порівняння наведено криву виділення біогазу з 1 г технічного жиру (ТЖ). Очевидно, що жирові компоненти біомаси хлорели краще та швидше засвоюються анаеробною мікрофлорою з доброджувачів, ніж жирові компоненти ТЖ, який використовується на підприємстві.

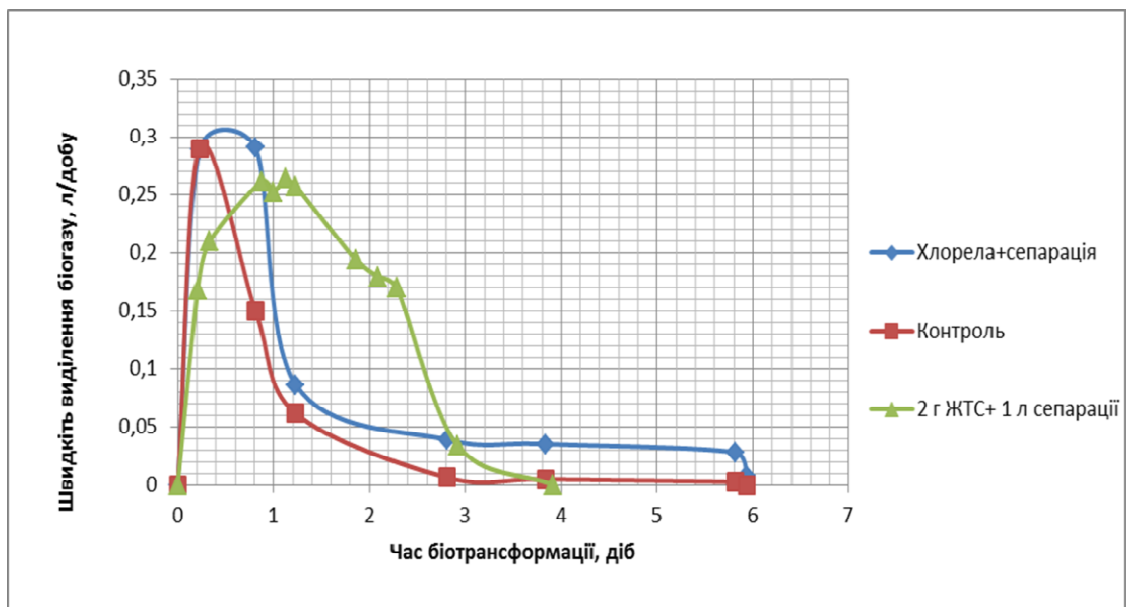


Рис. 9. Криві швидкості анаеробного бродіння біомаси *C. vulgaris* та технічного жиру

Також, отримана нами біомаса була використана на підприємстві ПрАТ «Оріль-Лідер» в системі очищення стічних вод для зменшення показнику кількості амонійного Нітрогену до гранично допустимих концентрацій.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених нами досліджень отримано продуктивний штам *C. vulgaris*, здатний культивуватися при низьких температурах.

Порівняльний аналіз показав, що отриманий кріофільний штам *C. vulgaris* забезпечує ефективний ріст клітин біомаси при температурі 12–14 °С, що на 8–12 °С (45–50 %) нижче, ніж культивування вихідного «дикого».

Експериментально визначено мінеральний склад живильних середовищ, необхідних для отримання максимальної кількості біомаси. Найбільш ефективними середовищами для культивування *C. vulgaris* є середовища Тамія та Майерса. Але для зменшення затрат на технологію культивування, нами запропоновано використання середовища Майерса як більш економічно ефективного.

Проведено порівняльний аналіз прямих та непрямих методів контролю кількості клітин *C. vulgaris* в суспензії. Встановлено, що спектрофотометричний та нефелометричний методи не завжди корелюють із прямим підрахунком клітин в камері Горяєва, тому для оцінки готового продукту необхідний багатофакторний аналіз їх залученням усіх методів оцінки.

Проведено експериментальні дослідження, щодо визначення способу концентрування біомаси за допомогою використання центрифугування. За результатами експериментів зроблено висновок, що використання центрифугування при частоті обертів 1500 об/хв упродовж 10 хвилин дозволяє майже повністю (90–95 %) осадити клітини біомаси зі збереженням їх життєздатності.

Здійснено порівняльну оцінку ефективності способів дезінтеграції мікроводорості за допомогою ультразвукової диспергації. При дезінтеграції суспензії при частоті ультразвуку 22 кГц, впродовж 10 хвилин спостерігається 90–98 % зруйнованих клітин.

Показана ефективність використання дезінтегрованої біомаси культури для збільшення виходу біогазу в умовах анаеробного зброджування стічних вод

птахокомплексів. А також ефективність використання ліофілізованої біомаси при очищенні стічних вод цих підприємств.

Таким чином, селекціонована популяція хлорели більш стійка до низьких температур та запропонована технологія культивування кріофільного штаму *C. vulgaris*, що дозволить ефективно її використання в умовах регіональних особливостей степової зони України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мамедова Ф. Т. Различные подходы к накоплению биомассы микроводорослей *Chlorella vulgaris* и к процессам её биокаталитической трансформации: дисс. канд. хим. наук. М., 2015. – 176 с.

2. Мещерякова Ю.В. Культивирование микроводоросли хлорелла с целью получения биотоплива / Ю.В. Мещерякова // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – 2012. – №12. – С. 33–36.

3. Музафаров А.М. Культивирование и применение микроводорослей / А.М. Музафаров. – Ташкент: Фан УзССР, 1984. – 136 с.

4. Дворецкий Д.С. Технология получения липидов из микроводорослей / Д.С. Дворецкий. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 101 с.

5. Арутюнян Н.П. Культивирование одноклеточных водорослей / Н.П. Арутюнян. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1996. – 86 с.

6. Богданов Н.И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных. – Режим доступа: <http://www.хлорелла.рф/up.pdf>

7. Упитис В.В. Макро- и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей / В.В. Упитис. – Рига: Зинатне, 1983. – 240 с.

8. Методы физиолого-биологического исследования водорослей в гидробиологической практике. – М.: Киев, 1975. – 247 с.

9. Лебедева М.И. Практикум по аналитической химии / М.И. Лебедева. – Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. ун-та, 2002. – 80 с.

10. The impact of cell wall carbohydrate composition on the chitosan flocculation of *Chlorella* [Cheng Y.-S., Zheng Y., Labavitch J.M., Vandergheynst J.S.] // *Process Biochemistry*. – 2011. – N 46. – P. 1927–1933.

11. A simple and rapid harvesting method for microalgae by *in situ* magnetic separation [Xu L., Guo C., Wang F. et al.] // *Bioresource Technology*. – 2011. – N 102. – P. 10047–10051.

12. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / [Пименова М. Н., Гречушкина Н. Н., Азова Л. Г. та ін.]. – М.: Изд. МГУ, 1995. – 224 с.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНОГО ШТАММА CHLORELLA VULGARIS В
УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

М.А. ПРОКОФЬЕВА, М.И. СЕМЕНОВ, Я.В. СТЕПНЕВСКАЯ,
В.Т. СМЕТАНИН

Украинский государственный химико-технологический университет,
г. Днепр

*Проведена селекция штамма *Chlorella vulgaris* для культивирования в условиях низких температур и изучены разные подходы к накоплению биомассы микроводоросли. Подобраны и обоснованы оптимальные условия ее культивирования, концентрирования и дезинтеграции клеток. Показана эффективность использования биомассы в системе очистки сточных вод птицекомплексов и как компонента метаногенного субстрата биогазового комплекса.*

*Ключевые слова: альготехнологии, *Chlorella vulgaris*, селекция, технология культивирования, метаногенез.*

***DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR CULTIVATION OF OF HIGH-
PROCESSING STONES OF CHLORELLA VULGARIS IN LOW
TEMPERATURE CONDITIONS***

M. PROKOFIEVA, M. SEMENOV, Y. STEPNEVSKA, V. SMETANIN

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro

Chlorella vulgaris strain was selected for cultivation under low temperature conditions and different approaches to the accumulation of microalgae biomass were studied. Optimal conditions for its cultivation, concentration and disintegration of cells were selected and justified. The efficiency of using biomass in the sewage treatment system of poultry complexes and as a component of the methane substrate of the biogas complex is shown.

Key words: algotechnology, Chlorella vulgaris, selection, cultivation technology, methanogenesis.